

УДК 621.396.4

Модель оценки битовой ошибки в радиоканале передачи данных для решения задач мониторинга пожаров с использованием модуля LoRa в условиях лесного массива

Горбунов Артем Дмитриевич

ezro2004@mail.ru

Филатов Владимир Иванович

vfil10@mail.ru

SPIN - код: 9514 - 7430

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема ослабления радиосигнала в канале управления при мониторинге лесных пожаров в условиях лесного массива с использованием технологии LoRa. Представлен анализ различных моделей расчета потерь распространения радиоволн в растительности, включая модели МСЭ-Р.833, показательную модель, MED и COST 235. Показано, что наличие лесного массива приводит к значительному дополнительному затуханию сигнала, что критически ограничивает дальность устойчивой связи. Сделаны выводы о необходимости учета типа растительности, сезонности и геометрии радиотрассы при планировании полетов для обеспечения требуемой вероятности битовой ошибки.

Ключевые слова: радиоканал, битовая ошибка, потери радиосигнала, лесной массив, LoRa

Введение. Применение удаленно управляемых систем для мониторинга лесных пожаров является перспективным направлением. Однако эффективность их использования в значительной степени ограничена дальностью и надежностью радиоканала управления и передачи данных. Растительность, особенно в густых лесных массивах, вносит существенное дополнительное затухание радиосигнала, что может привести к потере связи. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки методов оценки устойчивости радиоканала в таких условиях. Целью исследования является оценка влияния лесного массива на ослабление радиосигнала и определение предельной дальности управления с использованием модулей LoRa, обеспечивающей требуемое качество связи.

Методы и материалы; результаты. В качестве объекта исследования рассматривался радиоканал между наземным пунктом управления и летательным аппаратом, оснащенным модулем LoRa, работающим в диапазоне частот 850–930 МГц. Высота антенны пункта управления составляла 1,5 м, высота полета — 100 м. Лесной массив моделировался как однородный, состоящий из хвойных пород (кедр) средней высотой 20 м. Для оценки потерь распространения сигнала были проанализированы несколько моделей: рекомендация МСЭ-Р.833 (в трех модификациях), показательная модель, модель MED и модель COST 235 [1–3]. Модели учитывали такие параметры, как частота, расстояние, проходимое сигналом в лесу, тип растительности, сезон года

и угол места радиолинии. Анализ показал, что дополнительные потери из-за растительности могут достигать значительных величин, варьируясь от десятков до сотен децибел в зависимости от используемой модели и условий. Наихудший сценарий, полученный по показательной модели для хвойного леса, был принят для дальнейших расчетов. На его основе была оценена суммарная величина потерь в радиоканале. Для обеспечения требуемого отношения сигнал-шум и вероятности битовой ошибки не хуже 10^{-5} было определено критическое значение угла места радиолинии. Расчеты показали, что при расположении пункта управления непосредственно в лесу предельная дальность устойчивой связи на высоте 100 м не превышает 242 метра, при этом длина участка трассы, проходящего через лес, составляет около 45,5 м. Также была проведена оценка вероятностно-временных характеристик передачи пакета данных в протоколе LoRa, учитывающая структуру кадра, помехоустойчивое кодирование и время передачи [2, 3].

Заключение. Проведенное исследование, выполненное в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSFN-2024-0073), демонстрирует существенное влияние лесного массива на ослабление радиосигнала в канале управления, использующем технологию LoRa. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для обеспечения надежной связи при проведении мониторинга в лесных условиях необходимо тщательно планировать расположение наземного пункта управления и траекторию полета, учитывая предельно допустимую дальность, определяемую растительностью. Наибольшее ограничение возникает при расположении пункта управления внутри леса. Использование рассмотренных моделей позволяет адекватно оценить ожидаемые потери и спроектировать систему связи с требуемыми характеристиками. Полученные выводы могут быть применены при организации работ в лесистой местности, в частности, для задач экологического мониторинга и противопожарного наблюдения.

Список источников

- [1] *Ослабление сигналов растительностью. Серия Р. Распространение радиоволн. Рекомендация МСЭ-R P.833-10 (09/2021).*
- [2] Ипатов В.П. *Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения.* Москва, Техносфера, 2007, 488 с.
- [3] Torrieri D. *Principles of spread-spectrum communication systems.* Springer, 2015, 641 p.